

# Low-Mass Star Formation in Small Molecular Clouds (小分子雲中の低質量星の形成)

著者	平野 尚美
号	1009
発行年	1987
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/24860">http://hdl.handle.net/10097/24860</a>



## Chapter 5. Extensive Mapping of B 361 and B 335

### 5.1 The structure and dynamics of B 361

#### 5.1.1 Introduction

#### 5.1.2 Results

#### 5.1.3 Discussion

#### 5.1.4 Summary

### 5.2 B 335 and its surroundings

#### 5.2.1 Introduction

#### 5.2.2 Results

#### 5.2.3 Discussion

#### 5.2.4 Summary

## Chapter 6. Detailed Structure of B 361 Core

### 6.1 Introduction

### 6.2 Results

### 6.3 Discussion

### 6.4 Summary

## Chapter 7. Star Formation and High-Velocity Flow in B 335

### 7.1 Introduction

### 7.2 Results

### 7.3 Discussion

### 7.4 Summary

## Chapter 8. Total Pictures of B 361 and B 335

### 8.1 A total picture of B 361

### 8.2 A total picture of B 335

## Chapter 9. Summary

## Acknowledgements

## References

# 論文内容要旨

## 第1章 イントロダクション

本研究は Bok globule あるいは Barnard object として知られている小規模な分子雲 ( gas と dust から成る密度の高い星間雲 ) における低質量星形成のプロセスを観測的に明らかにしようと試みたものである。本論文で紹介する B 361 , B 335 という2つの天体はどちらも典型的な Bok globule で、その形は丸く、内部では低質量星の形成が進んでいるものと思われる。これらの領域は、他の星形成領域から孤立して存在しているため、周囲からの影響が少なく、星形成のプロセスを探る上で非常に好都合である。また、両者は運動学的には非常に異なった側面を持っており、( B 361 は回転および cloud の分裂の徴候が見られ、一方 B 335 は原始星からの active な jet 現象を伴う )、夫々が分子雲の進化を調べる上で重要な一端を担っている。これら globule という比較的単純な星形成領域の研究は、より大規模で複雑な領域における星形成現象を理解する上でも非常に役に立つ。さらに、原始太陽系形成の謎を解く重要な手がかりを与えるものである。

## 第2章 小規模分子雲と星形成に関するレビュー

まず、分子雲の進化、物理状態、およびその内部における星形成に関して、今までに観測的に明らかにされている事実をレビューする。この章では、主に以下の3点を取りあげた。

- 1) globule が形成される前段階的な天体であると思われる、フィラメント状の分子雲
- 2) 分子雲内の core の物理状態、およびその近傍で見つけられている赤外線源
- 3) 非常に若い星がその進化の一段階で経験する、energetic な outflow 現象 ( 双極分子流と呼ばれる ) 。

## 第3章 各天体のプロフィール

B 361 , B 335 という個々の天体について、これまでの観測事実をまとめて示した。

- B 361 は比較的サイズが大きく ( 直径  $\sim 2$  pc ) , 回転と思われる速度場が存在する。これまでの観測では ① 回転に伴う雲の扁平化が見られない事 ② スペクトル線がこの種の分子雲としては異常に広く、かつ、その原因が不明である事、などの問題点が未解決である。また、その内部はあまり高密度にはなっておらず ( 水素分子密度  $n < 10^4 \text{ cm}^{-3}$  ) , 星形成は進んでいないものと思われていたが、近年、IRAS 衛星のサーベイにより、原始星とおぼしき赤外線源が発見された。
- 一方、B 335 はサイズが小さく ( 直径  $\sim 0.3$  pc ) , 内部に非常にコンパクトで密度の高い (  $n > 10^4 \text{ cm}^{-3}$  ) core を有する。core の中心付近には、遠赤外線源があり、その遠赤外線源を中心とする非常にハッキリとした双極分子流を持つ事が知られている。

## 第4章 観 測

観測は、名古屋大学 4 m 短ミリ波望遠鏡と、東京天文台野辺山宇宙電波観測所（NRO）の 45 m 望遠鏡を用いて行われた。 $^{12}\text{CO}$ （ $J = 1 \rightarrow 0$ ；115 GHz）と  $^{13}\text{CO}$ （ $J = 1 \rightarrow 0$ ；110 GHz）の輝線を観測した。スペクトル線の測定には、いずれも音響光学型分光計（AOS）が用いられた。110 GHz における夫々の望遠鏡の空間分解能は  $2.7''$ （4 m）と  $15''$ （45 m），また速度分解能はどちらも  $\sim 0.1 \text{ km s}^{-1}$  である。

## 第5章 広域 mapping 観測

この章では名古屋大学 4 m 鏡を用いた広い領域の観測の結果を示す。

### 。 B 361

$^{12}\text{CO}$ ， $^{13}\text{CO}$  のラインで B 361 とその西側に広がるフィラメント状の雲（Lynds clouds）を含む  $60' \times 40'$  の領域を観測した。その結果，以下の様な事が明らかになった。

- 1) B 361 と Lynds clouds は物理的につながった系であると思われる。
- 2) この領域における磁場の方向（フィラメントの長軸と平行），および cloud 内の密度分布が片側に急激な勾配を示す事から，これらの cloud の起源は外圧によって掃き集められた dust shell であろうと考えられる。
- 3) B 361 中心域は 2 つの速度 component に分けられ（Fig. 1），速度の異なる 2 つの cloud が存在する可能性を示している。観測されている速度勾配，スペクトル線巾の増大，および 2 つのピークを持つラインプロファイルは，いずれも 2 つの components の blend でうまく説明する事ができる。これら 2 つの components は，回転する分子雲の分裂によって生じたものと思われる。
- 4) IRAS サーベイの結果を検討する事により，B 361 中心域と Lynds clouds（L 964）内で星形成の徴候のある事が明らかになった。

### 。 B 335

$^{13}\text{CO}$  輝線で B 335 とその北東域（ $120' \times 100'$ ）を観測した。その結果 B 335 およびその北東にある B 338，L 670 は同じ視線速度，非常に似かよったスペクトル線の特徴を有する事から，同じ起源を持つものである可能性が示された。また，かなり広い領域にわたってほとんど系統的な速度変化は見られず，この領域では外圧の効果はあまり重要ではないらしい。B 335 およびその周辺の雲は，かつてはより大きな暗黒雲複合体（dark cloud complex）の中で形成された core が，本体の雲が消散してしまった後まで残って現在に至った姿であると考えられる。

## 第6章 B 361 core の詳細な構造

名古屋大学 4 m 鏡による観測で 2 つの速度 components が見られた B 361 中心域について，NRO 45 m 鏡で  $^{13}\text{CO}$ ， $^{12}\text{CO}$  輝線でさらに詳しい観測を行なった。得られた結果は，第5章で

示したものとほぼ consistent である。新たに、B 361 中心域がより小さいスケールの sub-clumping を持つ事、赤外線源の近傍では局所的にスペクトル線巾が広がっている事が見出された。この局所的なスペクトル線巾の増大については、2つの components の blend だけでは説明がつかず、赤外線源との関連が重要であると思われる。赤外線源は cloud中に埋もれた原始星であり、その原始星が周囲の cloud の物質にエネルギーを供給し、random 運動を増大させた結果、スペクトル線巾が広がって見えると解釈するのが適当であろう。

## 第7章 B 335 における星形成と分子流

B 335 の双極分子流領域について、NRO 45 m 鏡で  $^{12}\text{CO}$  輝線を用いて詳細な観測を行った。その結果、B 335 の分子流の次のような性質が明らかにされた (Fig. 2 参照)。

- 1) 双極分子流の中心は、遠赤外線源の位置ときわめて良く一致する。
- 2) 分子流は中空の shell 状の構造を持つ。
- 3) blue lobe 中に red shift した成分、red lobe 中に blue shift した成分を持つ“入れ子”的な構造を持つ。この様な構造は shell 状の分子流をほぼ真横に近い角度から見ているために現れるものであると解釈される。
- 4) 遠赤外線源のごく近傍から分子流は存在している。この分子流の存在は今回の観測によって初めて明らかにされたものである。
- 5) 分子流は加速を受けている徴候が見られる。

これらの結果から、B 335 の双極分子流は、原始星のごく近傍の高密度領域から双極状に流れ出し、shell に沿って加速を受けながら遠ざかってゆくものであることがわかる。このような描像は、典型的な双極分子流天体として知られている L 1551 のものときわめて良く似ている。L 1551 では Uchida and Shibata (1984, 1985) の磁気ねじれ jet model が非常に良く観測を説明する事が知られているが、B 335 の場合には磁気ねじれ jet model の一つの大きな特徴である“双極分子流の回転”が見られず、モデルの特定は困難である。ただし、双極分子流がかなり根元から双極であるという結果は重要である。

## 第8章 B 361 と B 335 の全体像

これまでの観測結果を総合して、各天体についてのトータルな描像を与える。

### 。 B 361

- 1) cloud の起源は外圧によって掃き集められた dust shell であろう。その dust shell が大まかに分裂する事により、B 361 と Lynds clouds の母体が形成される
- 2) B 361 は回転しながら収縮し、subcondensation へと分裂する。一方、Lynds clouds はフィラメントの不安定性により、ビーズ状の小さな condensation へと凝縮する。
- 3) こうして出来た condensation のうち、比較的密度が高く、重力的に不安定なものは早く収縮し、内部で星を形成する。それらの原始星が現在、赤外線源として見えているものである。

。 B 335

- 1) cloud の起源は, dark cloud complex 中で形成された condensation が, 本体の cloud が消散した後に残されたものであろう。
- 2) ほとんど回転のない cloud が磁場に沿ってゆっくりと収縮し, 高密度 core を形成する。その中心がさらに収縮して星を形成した。
- 3) 若い星は, 主系列星に進化する途中で非常に active な outflow 現象を伴う。それが現在, 双極分子流として観測されているものである。この若い星は, やがてはまわりの物質をほとんど吹き飛ばしてしまい, その後, 我々が見る事のできる“星”として現われてくると考えられる。

## 第9章 結 論

本研究を通して, B 361, B 335 という2つの Bok globule は形は良く似ているが, その起源および進化は非常に異なる系である事が明らかにされた。B 361のように回転を伴う雲は, その収縮過程において複数個の subcondensation に分裂する傾向がある。それらはやがて収縮して, 連星系へと進化するものと思われる。一方, B 335のように内部運動のほとんどない系では単一の高密度 core を形成しやすく, 太陽のような“孤独の星”を形成する傾向がある。また, B 335の原始星に伴う双極分子流がかなり星の近くからすでに双極的であるという事は非常に重要である。双極分子流は原始星をとりまいている高密度 core をほとんど吹き飛ばしてしまうほどのエネルギーを持つが, 双極であるため, 赤道面上の物質は完全には消散しないで残りうる。それがやがて惑星系へと進化すると考えられる。すなわち, B 335は原始太陽系の姿であると言っても過言ではないであろう。

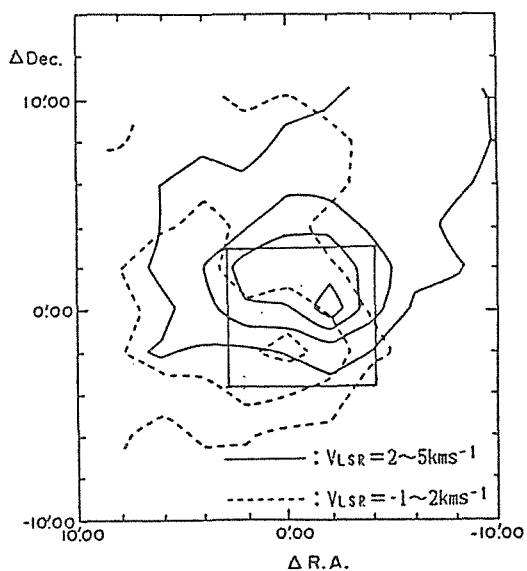
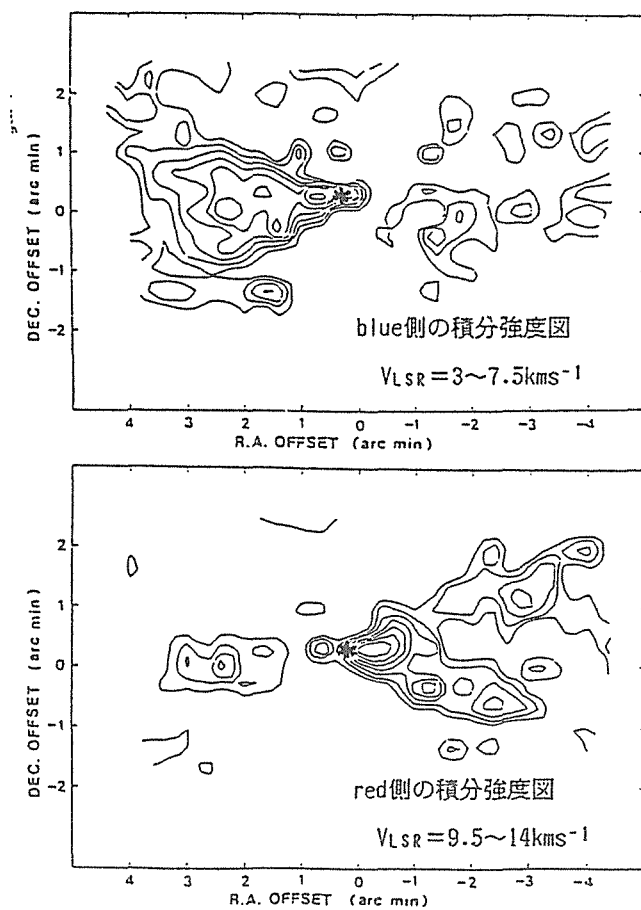


Fig. 1  
B 361  
名大 4 m 鏡による  
 $^{13}\text{CO}$  積分強度図  
図中の四角は NRO 45 m 鏡での  
観測範囲を示す。

Fig. 2  
B 335  
双極分子流の  
blue wing と red wing  
の分布

\* は遠赤外線源の  
位置を示す。





## 論文審査の結果の要旨

最近、ミリ波、遠赤外領域での観測が可能になるとともに、星間暗黒雲中に種々の分子が続々と発見され、暗黒雲の構造、内部運動、恒星形成の初期過程が次第に解明されるようになって来た。

本論文はグロービュルと呼ばれる暗黒雲の代表的な二つの雲、B 361 および B 335, を選んで、低（空間）分解能・広域観測と高分解能・狭域観測を巧みに組合せ、これらの起源・構造・内部運動およびその中での恒星形成について研究を行ったものである。

B 361 は視線速度に勾配があることで有名で、従来、この速度勾配は雲の回転で説明されていたが、著者は低分解能・広域観測に基づいて、この雲が視線速度の異なる二つの成分よりなることを示し、「回転する単独の雲」の仮定を排除するとともに、この雲およびその近傍のフィラメント状の雲が外部からの圧力で掃き集められた星間媒質に起源があることを明らかにした。この雲の高分解能観測からは、三つの高密度部を見出し、赤外線観測等も参考にして、この雲から二つまたは複数個の恒星が形成されるであろうことを示唆した。

B 335 は双極流（bipolar flow）と呼ばれる恒星形成に伴う運動があることで L 1551 暗黒雲と並んで有名である。この低分解能・広域観測からは B 361 に見られたような外圧の影響が見出されず、著者は、始めにあった雲の複合体が雲散霧消した後に残された高密度領域であろうと考えている。この雲の特徴は双極流の存在である。これは以前から知られていたことであるが、著者による高分解能観測によって初めてその構造の詳細が明らかにされた。新知見のうち特に重要なものは、この双極流が中空のかなり開いた双円錐状であること、この流れが中央にある赤外線源の極く近くから始まっていることなどである。また、L 1551 に見られる振れ運動は認められず、L 1551 で成功した加速機構の説明が必らずしも B 335 の双極流には適用できないことを示唆したのは注目に値する。

光学的に見ると大略同じに見える二つのグロービュルが、実はその成因、構造、運動等で全く異なるものであることは極めて興味深いことである。

以上、本論文は、数々の新知見を与えるとともに、今後のグロービュル研究の基礎となるべきものであって、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、平野尚美提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。